

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra částí a mechanismů strojů

Skládací tyč pro tažení dětského jízdního kola

Folding Tow Bar for a Children Bicycle

Student:

Martin Brdíčko

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Milena Hrudíčková, Ph.D.

Ostrava 2015

Zadání bakalářské práce

Student: **Martin Brdíčko**
Studijní program: **B2341 Strojírenství**
Studijní obor: **2302R010 Konstrukce strojů a zařízení**
Specializace: **40 Konstrukce strojních dílů a skupin**
Téma: **Skládací tyč pro tažení dětského jízdního kola
Folding Tow Bar for a Children Bicycle**

Zásady pro vypracování:

Zpracujte konstrukční návrh skládací tyče sloužící pro tažení dětského jízdního kola v tandemu.

Zpracujte rešerši a na základě ergonomické analýzy navrhnete vhodný tvar, rozměry a konstrukční provedení tyče včetně připojení obou kol a mechanismu skládání.

Proveďte pevnostní výpočty nosných částí tyče a zpracujte výkresovou dokumentaci v rozsahu výkresu sestavení a dílenských výkresů vybraných dílů.

Seznam doporučené odborné literatury:

DEJL, Z.: *Konstrukce strojů a zařízení I – Spojovací části strojů*. Montanex a.s. Ostrava, 2000.

BOHÁČEK, F.: *Části a mechanismy strojů I - Spoje*. VUT Brno, 1987.

BOLEK, A. A KOL.: *Části strojů - svazek 1*. SNTL Praha, 1990.

NĚMČEK, M.: *Řešené příklady z částí a mechanismů strojů*. 2. vydání. Skripta VŠB-TU Ostrava, 2008, ISBN 978-80-248-1782-8.

KŘÍŽ, R.: *Strojnické tabulky II - Pohony*. Montanex a.s., Ostrava, 2002.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Milena Hrudíčková, Ph.D.**

Datum zadání: 13.12.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015



prof. Dr. Ing. Miloš Němček
vedoucí katedry

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 18.5.2015



.....
podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 - školní dílo;
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3);
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB - TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO;
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce
- podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších
- zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby.

V Ostravě: 18.5.2015



.....
podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Martin Brdík

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Dětmarovice 1119, Dětmarovice 73571

Děkuji vedoucí bakalářské práce paní Ing. Mileně Hrudíčkové, Ph.D. a prof. Dr. Ing. Miloši Němčkovi za účinnou odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

Anotace bakalářské práce

Brdíčko, M. *Skládací tyč pro tažení dětského jízdního kola: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra částí a mechanismů strojů, 2015, 37 s. Vedoucí práce: Ing. Milena Hrudíčková, Ph.D.

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a výpočtem nosných částí skládací tyče pro tažení dětského kola. Pro výpočet byla použita Metoda konečných prvků nebo analytická metoda v závislosti na výpočtové náročnosti dané součásti.

Práce se opírá o konstrukční návrh doplněný výpočty a analýzou zatížení nosného háku MKP. Součástí je výkresová dokumentace v rozsahu výkresu sestavení a dílenských výkresů vybraných částí.

Klíčová slova: návrh, pevnostní výpočet, tažná tyč, skládací, jízdní kolo, MKP

Annotation of bachelor thesis

Brdíčko, M. *Folding Tow Bar for a Children Bicycle: bachelor thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machine Parts and Mechanisms, 2015, 37 p. Thesis head: Ing. Milena Hrudíčková, Ph.D.

This bachelor's thesis deals with design and dimensioning bearing parts of a folding tow bar for a children's bicycle. For dimensioning was used the final elements method or analytical method due to computing difficulty of the part.

Thesis is based on construction design supplemented with dimensioning and load analysis of a bearing hook by a final elements method. Included in this is drawing documentation to the extent of drawings of assembly and of selected parts.

Keywords: design, dimensioning, tow bar, folding, bicycle, FEM

Obsah

1.	Úvod	10
2.	Rešerše	11
2.1	Existující řešení	11
2.1.1	Tažná tyč Trail-Gator	12
2.1.2	FollowMe tandemový mechanismus	13
2.1.3	Trailer bicycle	14
2.2	Opora v zákoně	15
2.3	Ergonomické řešení dětských kol	15
2.4	Rozměry kol	16
3.	Návrh řešení	17
3.1	Uchycení tyče na dětském kole	18
3.2	Uchycení tyče na tažném kole	20
3.3	Mechanismus skládání	21
4.	Vstupní hodnoty zatížení	22
5.	Použité materiály	25
6.	MKP kontrola háku	26
7.	Kontrola tyčí	28
7.1	První tyč	29
7.2	Druhá tyč	31
7.3	Třetí tyč	33
8.	Závěr	35
9.	Použité zdroje	37

Seznam použitých značek a symbolů

d	vnitřní průměr	[mm]
D	vnější průměr	[mm]
F	zatěžující síla	[N]
F_m	síla vyvolující krouticí moment	[N]
F_y	síla působící v ose y	[N]
F_z	síla působící v ose y	[N]
k	součinitel bezpečnosti	[-]
k_a	součinitel dynamické bezpečnosti	[-]
l	délka	[mm]
M_k	krouticí moment	[Nmm]
M_o	ohybový moment	[Nmm]
r	rameno, na kterém působí moment	[mm]
R_e	mez kluzu	[MPa]
R_m	mez pevnosti	[MPa]
W_k	modul průřezu v krutu	[mm ³]
W_o	modul průřezu v ohybu	[mm ³]
α	úhel působení síly	[°]
σ	napětí	[MPa]
σ_o	napětí v ohybu	[MPa]
σ_{red}	redukované napětí	[MPa]
τ_k	napětí v krutu	[MPa]

1. Úvod

V dnešní době, kdy nastal rozvoj cykloturistiky, řešíme problém s rodiči, jež jsou milovníky tohoto druhu sportu a nechtějí se vzdát své záliby ani po narození dítěte. Hlavní problém nastává v době, kdy dítě již ovládá jízdu na kole, avšak v nedostatečně míře, zejména pak v hustém silničním nebo městském provozu nebo při delších a náročných cyklistických túrách. V tomto okamžiku nastává vhodná chvíle pro použití tažné tyče.

Hlavním cílem této bakalářské práce je návrh tažné tyče vhodné pro všechny typy dětských a dospělých kol při co nejjednodušším provedení. Při tvorbě této práce budu navrhovat a pevnostně kontrolovat nejvíce namáhané díly konstrukce, což je nosný hák a tažná tyč.

Cíle práce:

- Jednoduchá montáž bez potřeby náradí
- Variabilní použití na většinu běžných kol
- Skladnost a nízká hmotnost

2. Rešerše

2.1 Existující řešení

Pro bezpečnou přepravu dětí při cestě na kole lze využít několika variant v závislosti na věku a samostatnosti dítěte. Pro přepravu dětí nejmladších věkových kategorií se dá využít přípojný vozík nebo sedačka na kolo. Při tomto druhu přepravy dítě jen sedí nebo leží a nezapojuje se aktivněji do jízdy.

Variant pro přepravu starších dětí, které již ovládají základy jízdy na kole, je více. Například propojení kol pomocí tažné tyče, připojení speciálně upraveného přípojného kola (trailer bicycle) nebo využití dvojkola. Při tomto způsobu přepravy se dítě již zapojuje do jízdy, ale jen v omezené míře, může jen ovládat šlapání vlastního kola. Ovládání směru jízdy a brzdění má stále na starosti rodič. Tento způsob jízdy dítě dostatečně zaměstná, protože se může aktivně zapojit, ale v případě, že je unaveno, může přestat šlapat a odpočinout si.



Obr. 2.1 – přípojný vozík za kolo [10]

2.1.1 Tažná tyč Trail-Gator

Tato tažná tyč se připevňuje pomocí objímek uchycených na tažném a taženém kole a následném připevnění tyče k úchytným mechanismům.

Výhody:

- Jednoduché napojení - odpojení tažné tyče
- Možnost jízdy každého kola samostatně

Nevýhody:

- Velké rozměry složené tyče
- Pro montáž na jiné jízdní kolo je potřeba mít u sebe nářadí
- Možná nekompatibilita s některými druhy dětských kol

Tab 2.1 - parametry

Cena	1500 Kč
Váha tyče	3,2 kg
Max. váha dítěte	32 kg



Obr. 2.2 – tyč Trail-Gator [8]

2.1.2 FollowMe tandemový mechanismus

Mechanismus FollowMe se přichycuje k osám kol. U kola rodiče na osu zadního kola a u dětského kola na přední osu.

Výhody:

- Odpadá nutnost montáže objímek na dětské kolo
- Prostor pro velké brašny nebo dětskou sedačku na nosiči
- Vhodný pro všechny provedení dětských kol
- Možnost jízdy každého kola samostatně

Nevýhody:

- Vysoké pořizovací náklady
- Malá nosnost – max. nosnost: dítě + dětské kolo = 45kg

Tab. 2.2 - parametry

Cena	8000 Kč
Váha tyče	4 kg
Max. nosnost (s kolem)	45 kg



Obr. 2.3 mechanismus followme [9]

2.1.3 Trailer bicycle

Trailer bicycle je speciálním případem. Při volbě tohoto zařízení není umožněno použití dětského kola samostatně, ale jen v tandemu. Trailer bicycle lze použít jen k tomu, aby se dítě naučilo jezdit a používat řazení kola.

Výhody:

- Pro mladší děti (popř. mírně handicapované), které by nezvládly samostatnou jízdu

Nevýhody:

- Nemožnost oddělené jízdy

Tab. 2.3 - parametry

Cena	9100 Kč
Váha	8 kg
Max. váha dítěte	39 kg



Obr. 2.4 – Trailer bicycle [10]

2.2 Opora v zákoně

Do roku 2012 dle předpisu č. 361/2000 Sb., Zákon o provozu na pozemních komunikacích a o změnách některých zákonů, bylo povoleno pro přepravu dětí použít jen přípojný vozík. Jeho novelizací předpisem č. 197/2012 Sb., Zákon, kterým se mění zákon č. 361/2000 Sb., o provozu na pozemních komunikacích a o změnách některých zákonů (zákon o silničním provozu), ve znění pozdějších předpisů, § 5 odst. 6 se na konci odstavce doplňuje věta „Osoba starší 18 let může vézt nejvýše dvě děti mladší 10 let v přívěsném vozíku určeném pro přepravu dětí, který splňuje technické podmínky stanovené zvláštním předpisem²⁾, nebo dítě na dětském kole připojeném k jízdnímu kolu spojovací tyčí.“ [zdroj]

2.3 Ergonomické řešení dětských kol

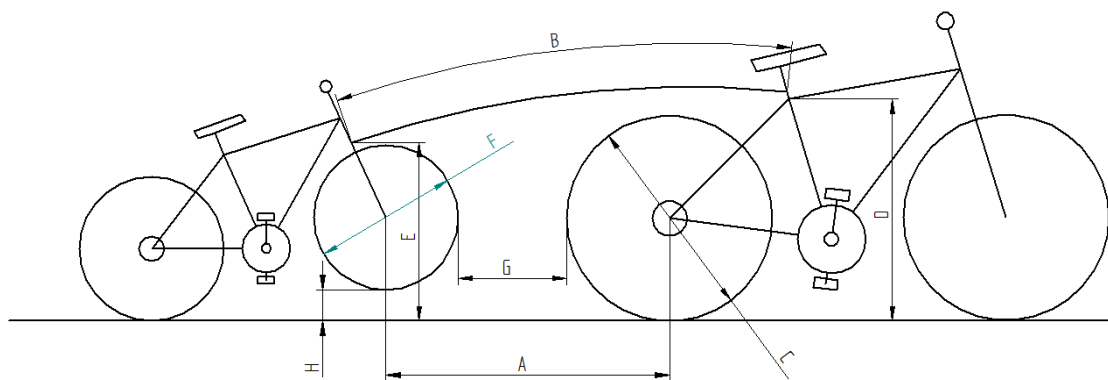
Vzhledem k velkému počtu variant, tvarů a velikosti dětských jízdních kol, bylo potřeba najít vhodné řešení, použitelné pro všechna dostupná dětská jízdní kola. Při prozkoumání dětských kol na našem trhu, jsem dospěl k názoru, že každé jízdní kolo má pod rámem u přední vidlice trojúhelníkový prostor. Tento prostor byl inspirací pro mé řešení tažné tyče dětského kola.



Obr 2.5 – dětské kolo s vyznačenou oblastí, která byla použita k návrhu tažné tyče [7]

2.4 Rozměry kol

Pro návrh byly použity rozměry z vícera jízdních kol, tak aby tažná tyč byla co nejvíce univerzální. V tabulce rozměrů [tab. 2.4] jsou uvedeny hodnoty nejnepříznivějších kombinací rozměrů dospělých a dětských jízdních kol.



Obr. 2.6 – Schéma kol a jejich rozměrů

Tab. 2.4 – rozměry kol

Označení	Rozměr (mm)
A	650
B	1100
C	690
D	720
E	580
F	490
G	70
H	50

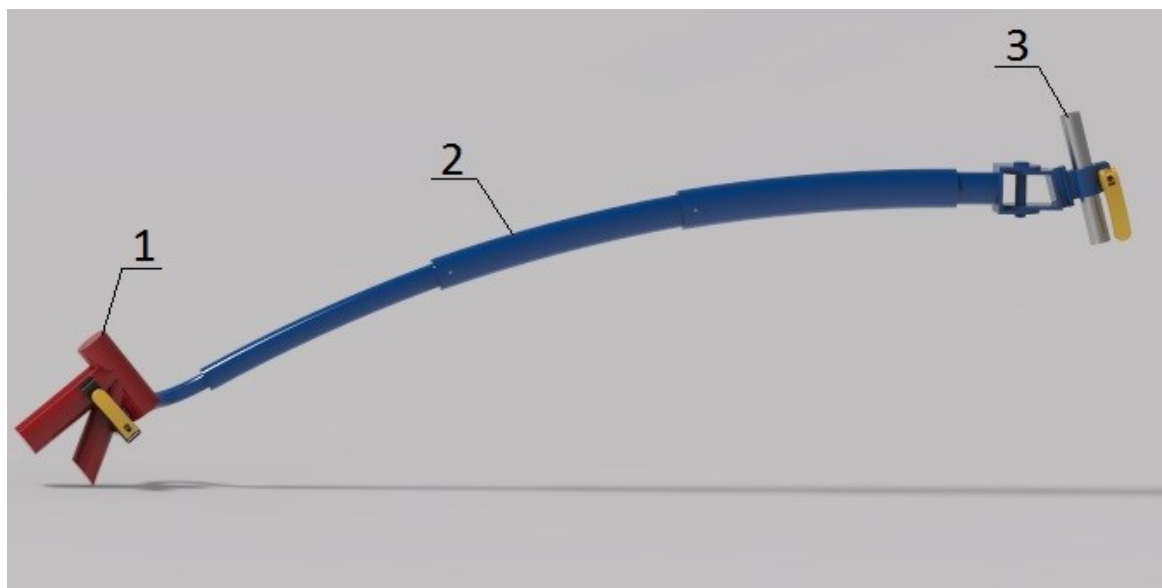
3. Návrh řešení

Při svém návrhu řešení tažné tyče dětského kola jsem se snažil, aby byla konstrukce co nejjednodušší a neefektivnější. Zásadní kritérium bylo, aby byla tažná tyč kompatibilní se všemi běžnými modely jízdních kol na trhu. Další důležitý předpoklad byl ten, aby tažnou tyč bylo možno připevnit na kolo s minimálním počtem potřebného nářadí a aby čas montáže nebyl příliš dlouhý.

Tyč je zkonstruována v mírném oblouku, pro případ, že by byl na tažném kole připevněn nosič.



Obr 3.1 – schéma spojení dvou kol pomocí tažné tyče

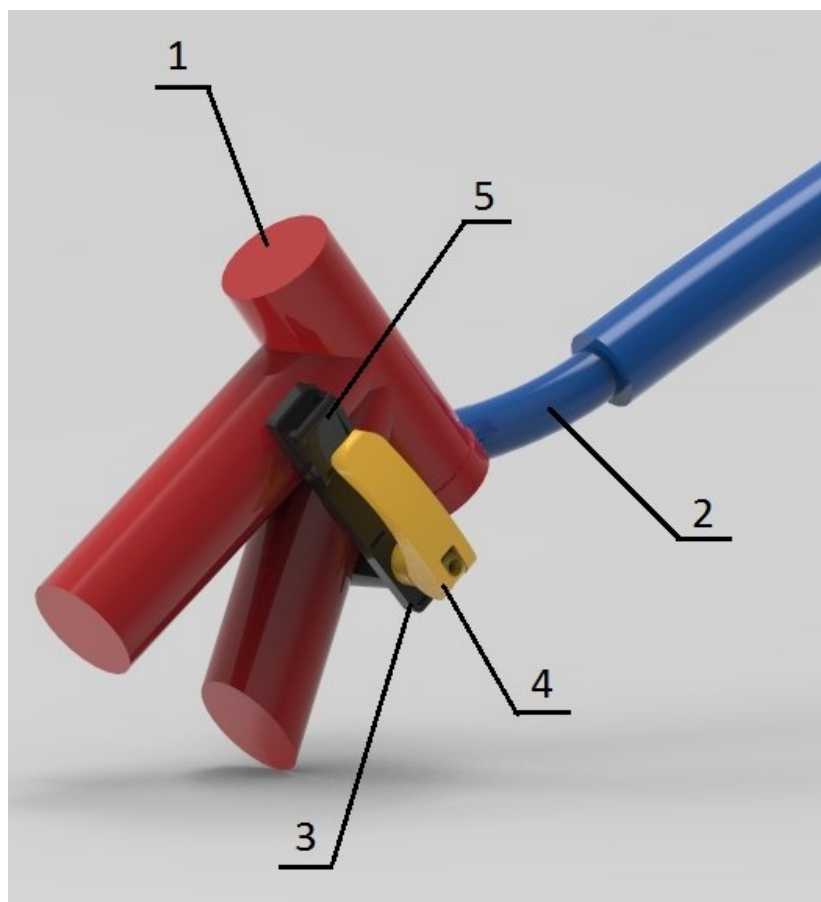


Obr 3.2 – navržené provedení tažné tyče

- 1 - Dětské kolo
- 2 - Tažná tyč
- 3 - Tažné kolo

3.1 Uchycení tyče na dětském kole

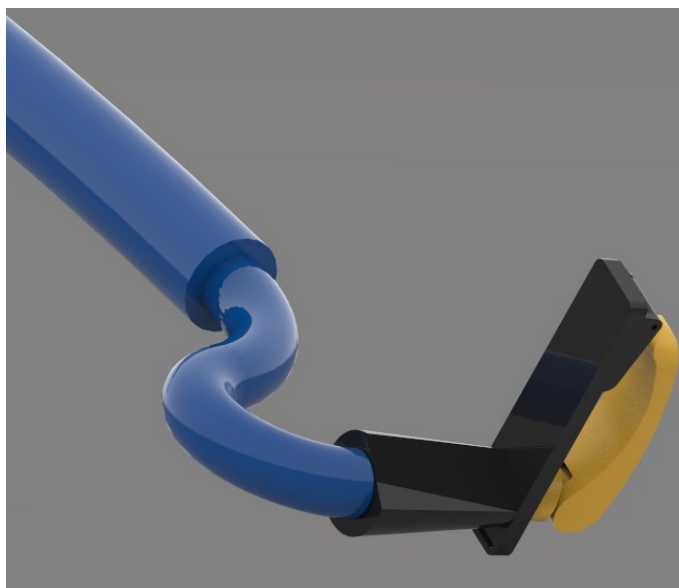
Mnou navrhované uchycení je založeno na dvou hlavních opěrných prvcích. Dalším neméně důležitým prvkem je textilní pás – popruh, který celý mechanismus zpevní a zajistí.



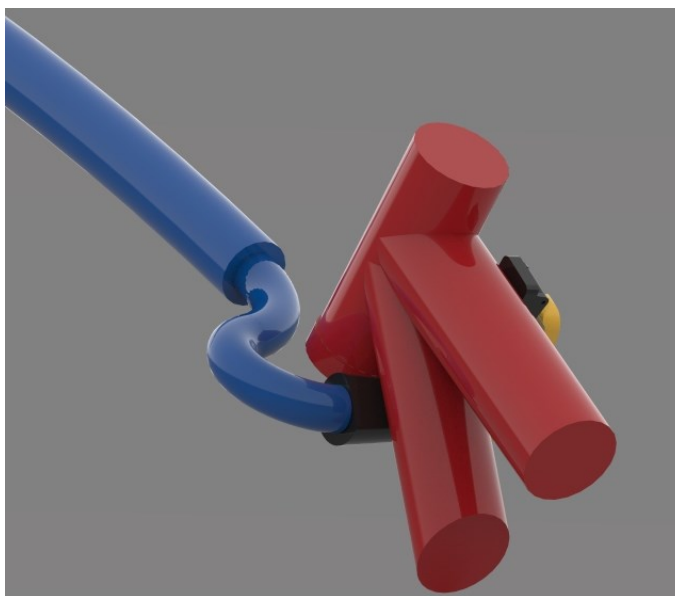
Obr 3.3 – detail uchycení dětského kola

- 1 - Přední část rámu dětského kola
- 2 - Tažná tyč s hákem
- 3 - Bočnice
- 4 - Excentrický šroub
- 5 - Klip pro pojištění textilním páskem

První opěrný prvek je kužel s dosedací seříznutou plochou (na obr. 3.4 černě), který zajistí dosednutí spodní tyče rámu dětského kola. Seříznutím je zajištěn čárový styk, místo bodového styku, čímž se sníží tlak na danou plastovou součástku. Úhel zkosení a tíhová síla zajistí, že spodní tyč rámu dětského kola neujede do strany. Na těleso kužele navazuje bočnice s textilním pásem, která zajišťuje, že se dětské kolo nenaklopí do strany. Bočnice je pojištěna excentrickým šroubem (na obr. 3.4 žlutě), pro snadné nastavení její polohy. Poloha bočnice a navazujícího kužele je nastavitelná otočně kolem osy kužele z důvodu přizpůsobení tvaru a poloze rámu taženého kola a záchytného systému tažné tyče.



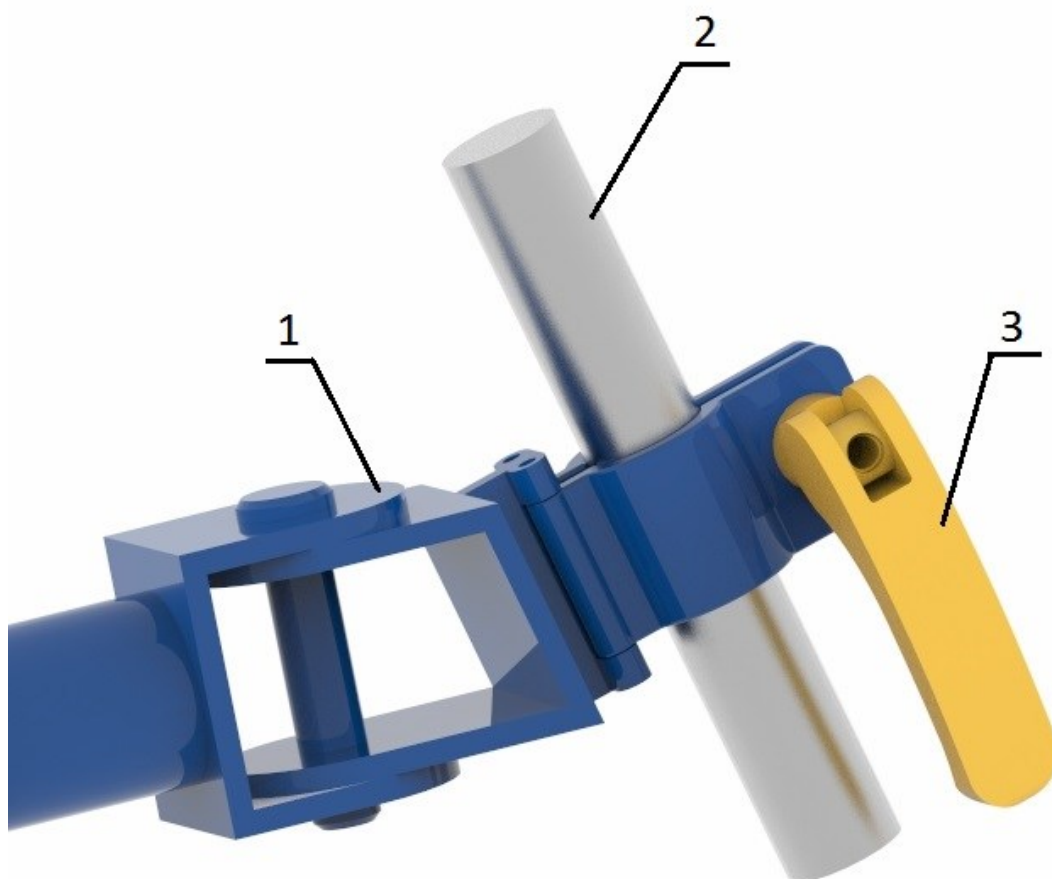
Obr 3.4 – Detail háku bez dětského kola, černě zobrazen záchytný systém (kužel a bočnice), excentrický šroub zobrazen žlutě



Obr 3.5 – Detail háku se zavěšeným dětským kolem (část rámu kola červeně)

3.2 Uchycení tyče na tažném kole

K tažnému kolu je tyč upevněna pomocí svěrného spoje. Tento svěrný spoj, zajištěný excentrickým šroubem, se vyznačuje jednoduchou montáží. Každé kolo má pod sedadlem prostor, kde se tento mechanismus dá jednoduše uchytit. K dosažení dokonalého uchycení jsou použity gumové pásky, jež jsou vloženy do objímek.



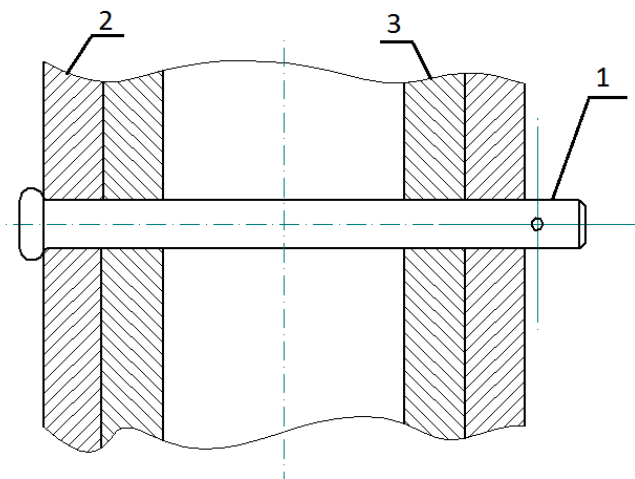
Obr 3.6 – Detail uchycení tažné tyče na tažném kole

- 1 - Mechanismus uchycení tažné tyče na rám tažného kola
- 2 - Tyč pod sedadlem (tzv. sedlovka) tažného kola
- 3 - Excentrický šroub (tzv. rychloupínač) pro snadné a pohotovité upevnění tyče ke konstrukci tažného kola

3.3 Mechanismus skládání

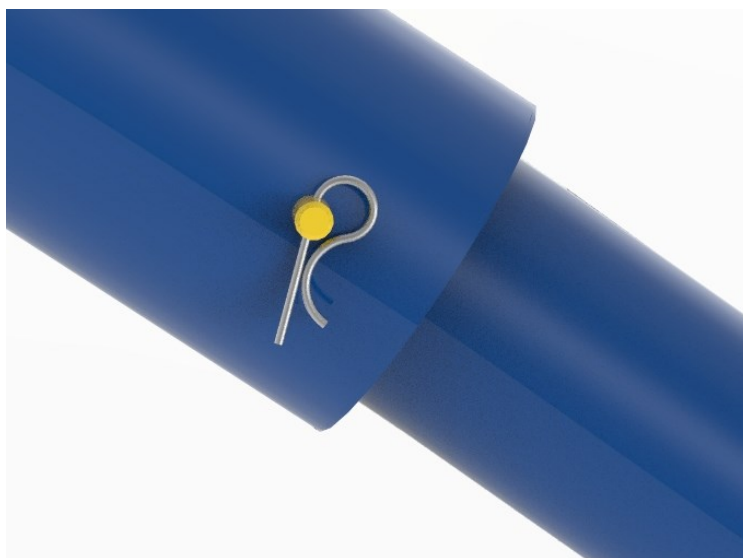
Skládání tažné tyče je vyřešeno zasouváním jednotlivých dílů do sebe. Samovolnému zasunutí jednotlivých dílů je zabráněno pomocí příčných pojistných čepů.

Vzhledem k tomu, že se tažná tyč skládá ze tří dílů, má tato tyč ve složeném stavu rozměr 580 mm a dá se proto snadno uschovat. Ať už do batohu, jiného příručního zavazadla nebo jednoduše připevnit pomocí plastových úchytek k nosnému rámu kola.



Obr. 3.7 – pojištění tažného mechanismu

- 1 - Pojistný čep
- 2 - Trubka tažné tyče 1
- 3 - Trubka tažné tyče 2



Obr. 3.8 – detail pojištění čepu drátovou pojistkou

4. Vstupní hodnoty zatížení

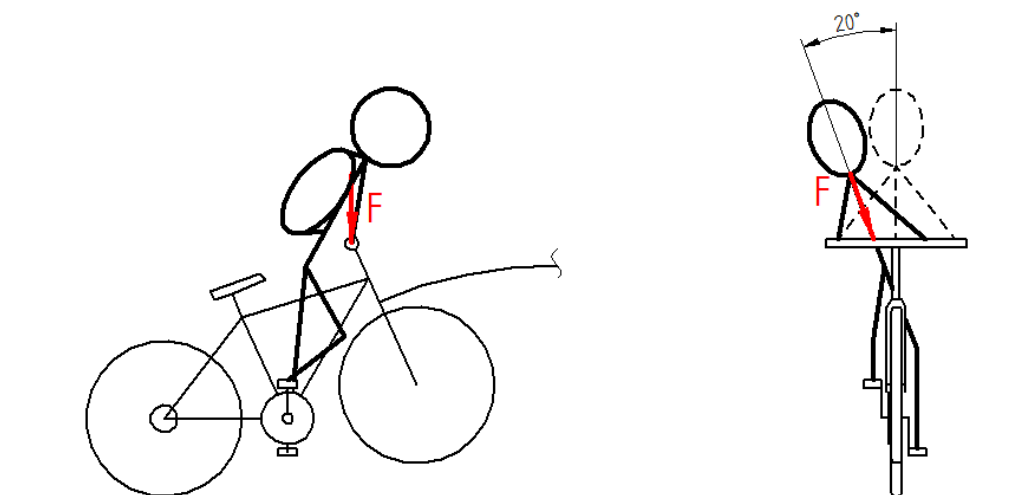
Při výpočtech počítám s největším zatížením, které by mohlo u jedoucího dítěte nastat. Toto největší zatížení nastane, když se dítě opře celou svou vahou na řídítka a zároveň se snaží kolo naklopit. Pro zatížení беру váhu chlapců, protože dle statistiky (tab. 4.1) jsou těžší než děvčata. Vzhledem k tomu, že uvedené váhy jsou průměrné, volím váhu trochu větší.

Tab. 4.1 – váha dítěte

Věk [roky]	Váha dítěte [kg]
4	17,2
5	19,3
6	21,9
7	24,5
8	27,1
9	30,4

Tab. 4.2 – vstupní veličiny

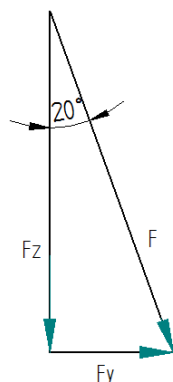
	Hmotnost [kg]	Síla [N]
Hmotnost dítěte	32	320
Hmotnost kola na přední nápravu	6	60
Celková zatěžující hmotnost	38	380



Obr. 4.1 – schéma zatížení tažné tyče

Při výpočtu počítám s tím, že se dítě může naklonit do strany až o $\alpha = 20^\circ$. Tedy zatěžující síla F bude rozdělena na dvě složky pomocí vzorce (4.1)

$$\sin \alpha = \frac{F_y}{F_z} \quad (4.1)$$

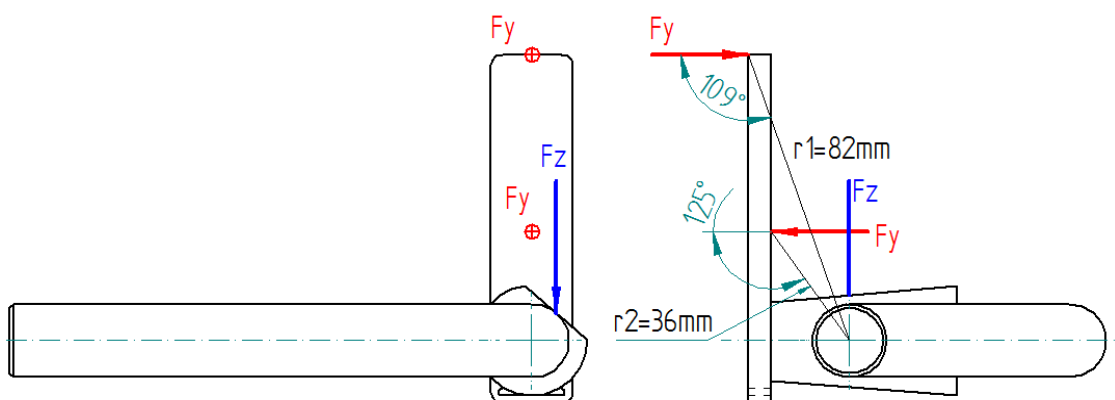


Obr. 4.2 – rozložení sil při náklonu dítěte do strany

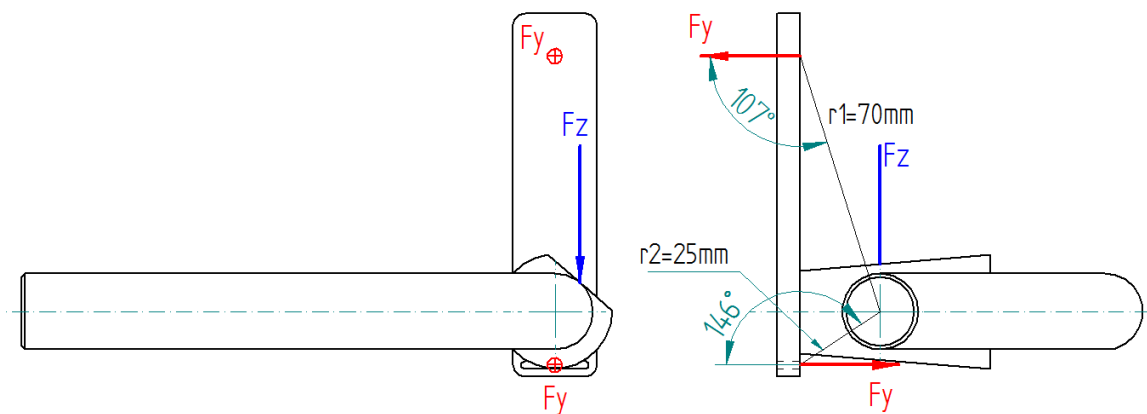
Tab. 4.3 – zatěžující síla

$\alpha [^\circ]$	$F [N]$	$F_y [N]$	$F_z [N]$
0	380	0	380
20	380	130	357

Působením síly F_y na bočníci háku vzniká ohybový a krouticí moment.



Obr. 4.3 – rozložení sil pro M_{k2}



Obr. 4.4 – rozložení sil pro M_{k1}

Výpočet krouticího momentu:

Pro výpočet vycházím z předpokladu, že se dítě může snažit naklopit na obě strany. Každý směr vyvolá jiný krouticí moment odvozený z Obr. 4.3 a Obr. 4.4

$$M'_{k1} = \sum F_m \cdot r = 130 \cdot \cos 56^\circ \cdot 25 + 130 \cdot \cos 17^\circ \cdot 70 = 10520 \text{ Nmm} \quad (4.2)$$

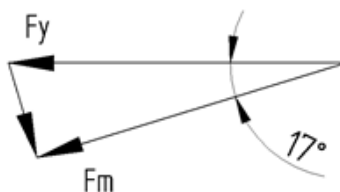
$$M_{k1} = k_a \cdot M'_{k1} = 1,2 \cdot 10520 = 12624 \text{ Nmm} \quad (4.3)$$

$$M'_{k2} = \sum F_m \cdot r = 130 \cdot \cos 19^\circ \cdot 82 - 130 \cdot \cos 35^\circ \cdot 36 = 6246 \text{ Nmm} \quad (4.4)$$

$$M_{k2} = k_a \cdot M'_{k1} = 1,2 \cdot 6246 = 7495 \text{ Nmm} \quad (4.5)$$

Získání síly vyvolávající krouticí moment:

Krouticí moment je způsobený silou F_m , která je složkou síly F_y . Síla F_y je síla, kterou způsobí dítě svým nakloněním. Úhel odklonění síly F_m od síly F_y získáme odečtem 90° od tupého úhlu, který svírá směr síly F_y a rameno r .



Obr. 4.5 – rozložení sil

$$F_m = F_y \cdot \cos \alpha = 130 \cdot \cos 17^\circ = 124 \text{ N} \quad (4.6)$$

5. Použité materiály

Při výběru materiálu pro tažnou tyč jsem bral v potaz dva důležité faktory. Prvním byla hmotnost daného materiálu a druhým byla pevnost. Při zvažování, které materiály se hodí pro tuto aplikaci, mi přišlo jako nejlepší řešení zvolit dural, který splňuje dostatečně obě podmínky. Přesněji pak dural s označením AW 6061 T6.

Tab. 5.1 – vlastnosti duralu

Označení dle EN	Hutní označení	Rm	Re	Korozivní odolnost	svařitelnost	obrobitelnost
AW 6061 T6	AlMg1SiCu	260	240	Velmi dobrá	dobrá	dobrá

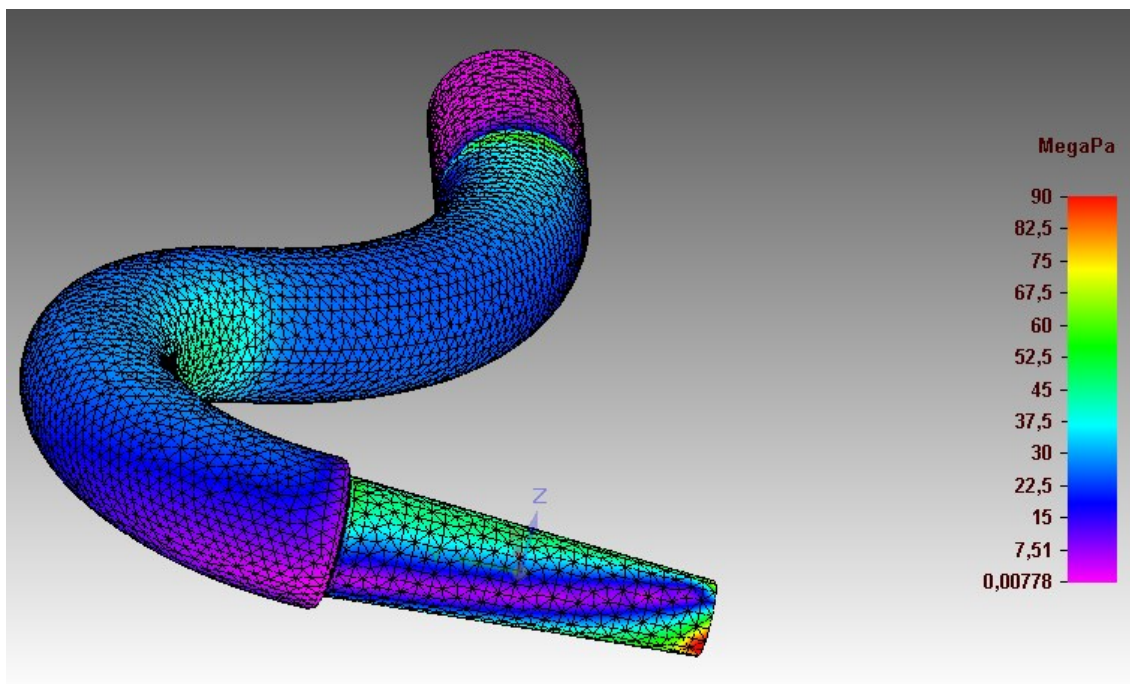
Pro bočnici jsem zvolil uhlíkovou ocel třídy 11 600, jelikož není potřeba ji svařovat a svými vlastnostmi a cenou je vyhovující.

Tab. 5.2 - vlastnosti oceli 11600

Označení ČSN	DIN	Rm	Re
11 600	St60-2	590	325

6. MKP kontrola háku

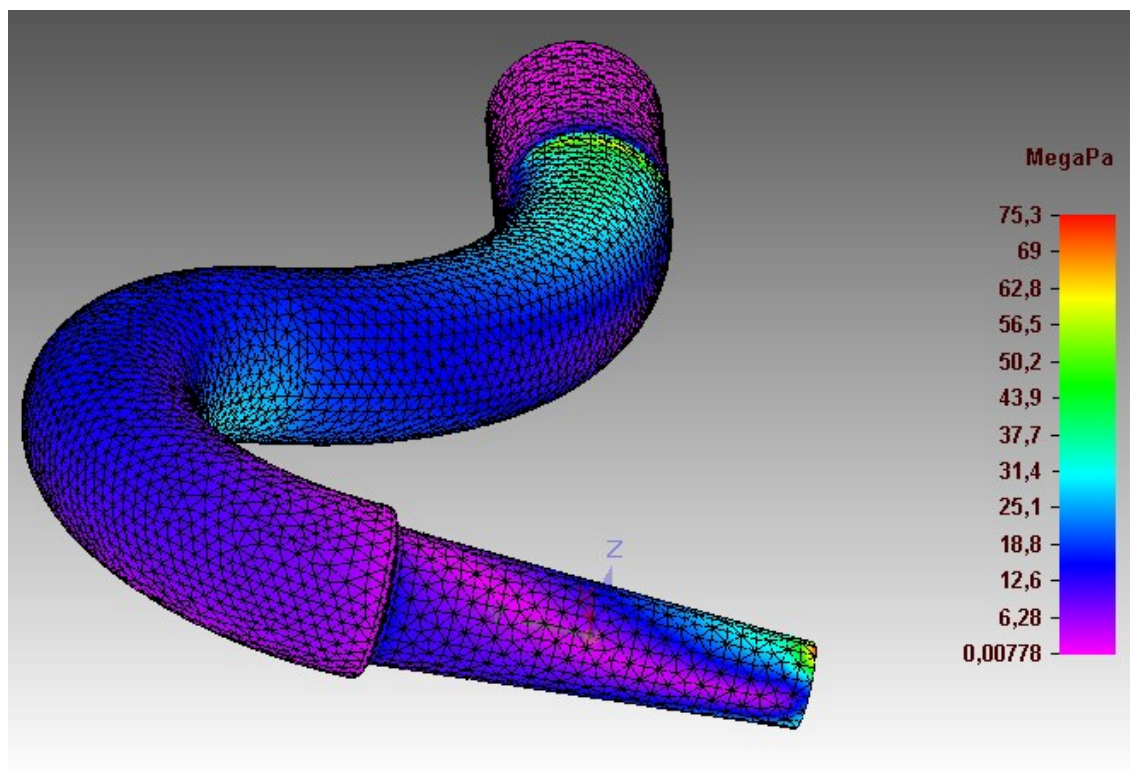
Vzhledem k tvaru a složenému namáhání háku ohybem a krutem, jsem zvolil kontrolu pomocí MKP zabudovanou jako nástavba v programu Solid Edge. Na hák působí zatěžující síly F_y a F_z .



Obr. 6.1 – Výsledek výpočtu MKP pro M_{k1}

Z grafického výsledku lze určit, že největší napětí pro M_{k1} je na součásti 90 MPa. Součinitel bezpečnosti háku (vztah 6.1) je dostatečný.

$$k = \frac{Re}{\sigma} = \frac{240}{90} = 2,7 \quad (6.1)$$



Obr. 6.2 – Výsledek výpočtu MKP pro M_{k2}

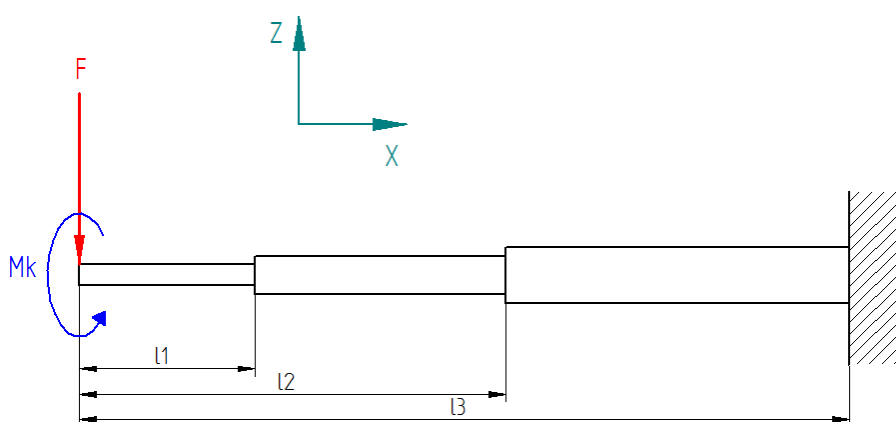
Z grafického výsledku lze určit, že největší napětí pro M_{k2} na součásti je 75,3 MPa. Vypočtený součinitel bezpečnosti k (vztah 6.1) je pro tento případ více než dostačující.

$$k = \frac{Re}{\sigma} = \frac{240}{75,3} = 3,2 \quad (6.2)$$

7. Kontrola tyčí

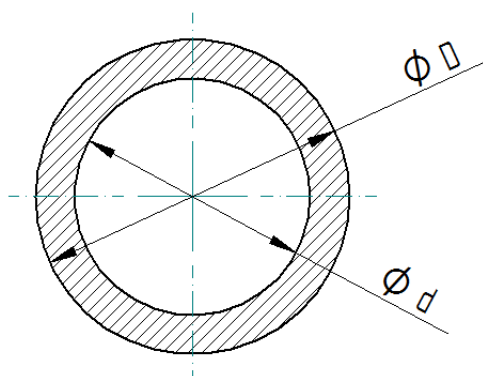
Každý segment skládací tyče je namáhán složeným namáháním, které se skládá z ohybu a krutu. Při výpočtu se skládací tyč bere jako nosník s jedním stupněm volnosti a to otáčení v ose z. Nosič má proměnný průřez, proto stačí kontrolovat každou tyč v jediném místě a to v místě vetknutí, kde je největší ohybové napětí.

Pro tyče volím stejný materiál jako pro hák, jímž je dural AW 6061 T6 s vlastnostmi z tab. 5.1. Pro výpočet zatížení je brána v úvahu síla F pod úhlem 20° z tabulky 4.3 a krouticí moment M_k vypočtený ve vzorci (4.3)



Obr 7.1 – jednotlivé části tažné tyče - výpočtové schéma nosníku

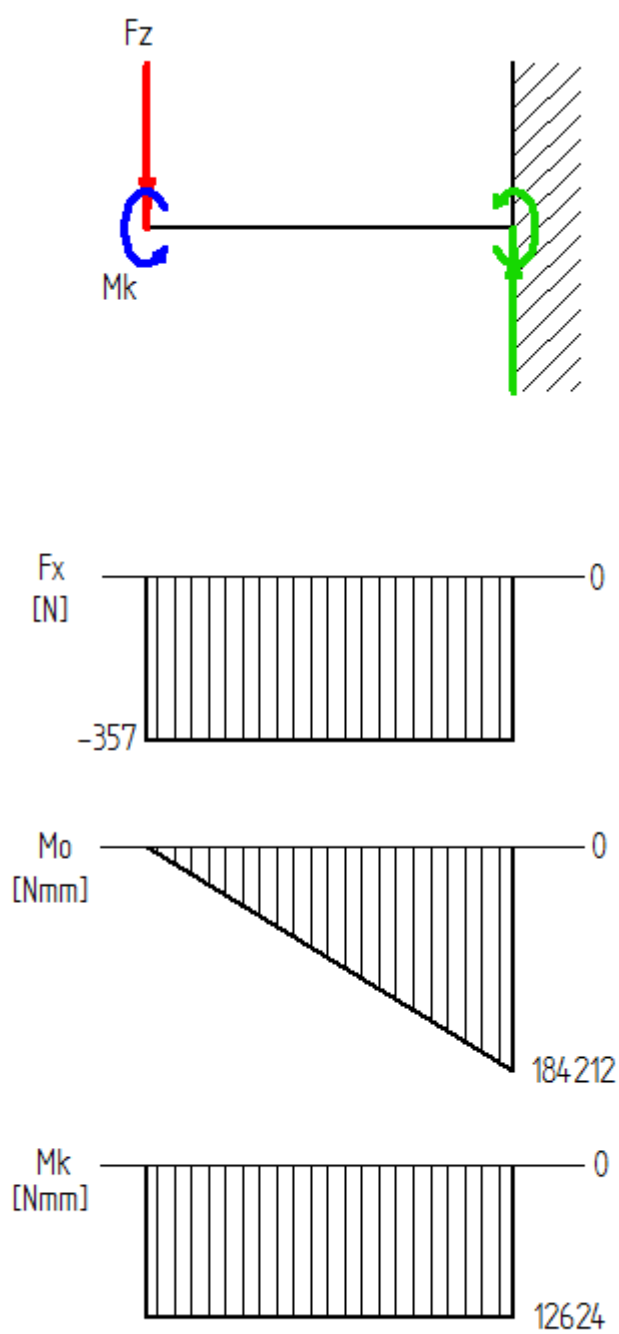
$l_1 = 430 \text{ mm}$	TR $\emptyset 30 \times 5$ ($D = 30 \text{ mm}$; $d = 20 \text{ mm}$)
$l_2 = 740 \text{ mm}$	TR $\emptyset 38 \times 4$ ($D = 38 \text{ mm}$; $d = 30 \text{ mm}$)
$l_3 = 1080 \text{ mm}$	TR $\emptyset 46 \times 4$ ($D = 46 \text{ mm}$; $d = 38 \text{ mm}$)



Obr. 7.3 – nosný průřez jednotlivých dílů tažné tyče

7.1 První tyč

Rovina x-z:



Obr. 7.2 – zatížení první tyče v rovině x-z

Pevnostní kontrola prvního úseku tažné tyče

Ohybové napětí:

$$\sigma_{o1} = \frac{M_{o1}}{W_{o1}} = \frac{184212}{2127,1} = 86,6 \text{ MPa} \quad (7.1)$$

Ohybový moment od síly F (tab. 4.3):

$$M_{o1} = k_A \cdot F \cdot l_1 = 1,2 \cdot 357 \cdot 430 = 184212 \text{ Nmm} \quad (7.2)$$

Modul průřezu v ohybu první tyče:

$$W_{o1} = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{D^4 - d^4}{D} = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{30^4 - 20^4}{30} = 2127,1 \text{ mm}^3 \quad (7.4)$$

Napětí v krutu od krouticího momentu M_{k1} (vztah 4.3):

$$\tau_{k1} = \frac{M_{k1}}{W_{k1}} = \frac{12624}{4254,2} = 3 \text{ MPa} \quad (7.5)$$

Modul průřezu v krutu první tyče:

$$W_{k1} = \frac{\pi}{16} \cdot \frac{D^4 - d^4}{D} = \frac{\pi}{16} \cdot \frac{30^4 - 20^4}{30} = 4254,2 \text{ mm}^3 \quad (7.6)$$

Redukované napětí první tyče podle Gesta:

$$\sigma_{red1} = \sqrt{\sigma_{o1}^2 + 4 \cdot \tau_{k1}^2} = \sqrt{86,6^2 + 4 \cdot 3^2} = 86,8 \text{ MPa} \quad (7.7)$$

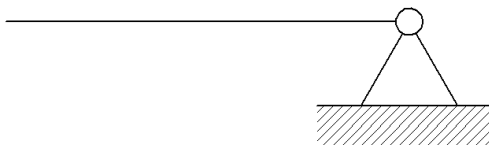
Bezpečnost první tyče:

$$k_1 = \frac{Re}{\sigma_{red1}} = \frac{240}{86,8} = 2,8 \quad (7.8)$$

kde mez kluzu materiálu $Re = 240 \text{ MPa}$ a je uvedena v tab. 5.1. Navržený průřez vyhovuje.

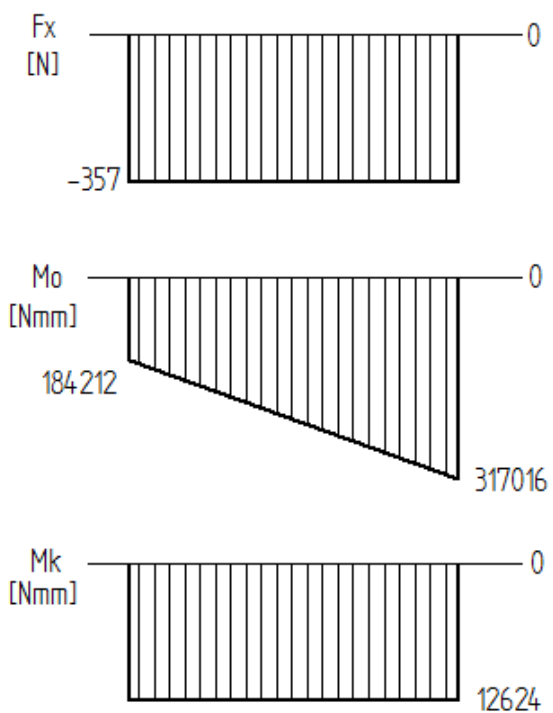
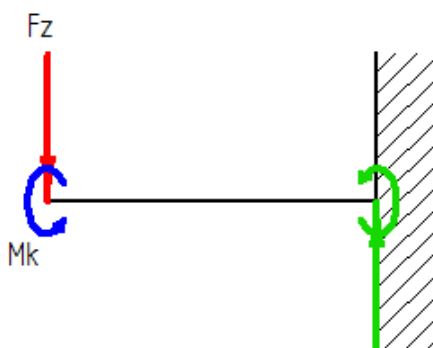
Rovina x-y:

Vzhledem k tomu, že v rovině x-y je kloub, tak nosník v tomto směru nezachytává boční sílu z naklopení kola. Tato síla se přenáší do dětského kola. Proto v této rovině není nosník zatížen a nemusíme provádět žádný výpočet.



Obr. 7.4 – schéma nosníku v rovině x-y

7.2 Druhá tyč



Obr. 7.5 – zatížení druhé tyče v rovině x-z

Pevnostní kontrola druhého úseku tažné tyče

Ohybové napětí:

$$\sigma_{o2} = \frac{M_{o2}}{W_{o2}} = \frac{317016}{3294,4} = 96,2 \text{ MPa} \quad (7.9)$$

Ohybový moment od síly F (tab. 4.3):

$$M_{o2} = k_A \cdot F \cdot l_2 = 1,2 \cdot 357 \cdot 740 = 317016 \text{ Nmm} \quad (7.10)$$

Modul průřezu v ohybu druhé tyče:

$$W_2 = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{D^4 - d^4}{D} = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{38^4 - 30^4}{38} = 3294,4 \text{ mm}^3 \quad (7.11)$$

Napětí v krutu od krouticího momentu M_{k1} (vztah 4.3):

$$\tau_{k2} = \frac{M_{k2}}{W_{k2}} = \frac{12624}{6588,7} = 1,9 \text{ MPa} \quad (7.12)$$

Modul průřezu v krutu druhé tyče:

$$W_{k2} = \frac{\pi}{16} \cdot \frac{D^4 - d^4}{D} = \frac{\pi}{16} \cdot \frac{38^4 - 30^4}{38} = 6588,7 \text{ mm}^3 \quad (7.13)$$

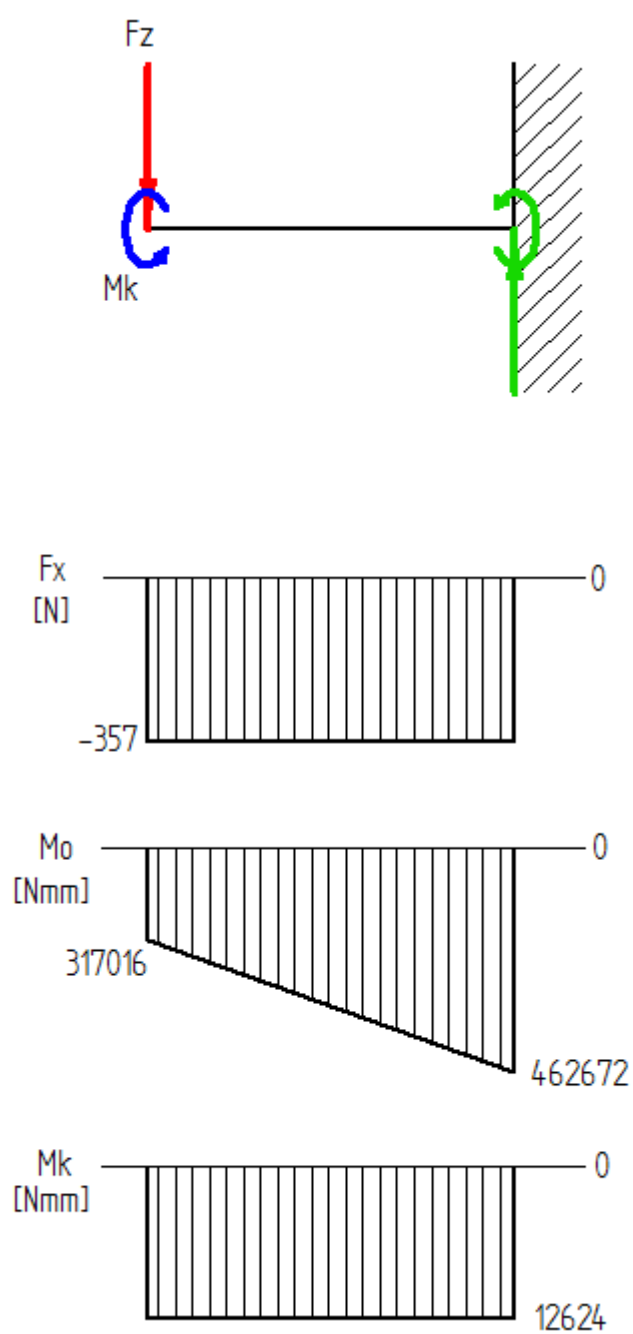
Redukované napětí druhé tyče podle Guesta:

$$\sigma_{red2} = \sqrt{\sigma_{o2}^2 + 4 \cdot \tau_{k2}^2} = \sqrt{96,2^2 + 4 \cdot 1,9^2} = 96,3 \text{ MPa} \quad (7.14)$$

Bezpečnost druhé tyče:

$$k_2 = \frac{Re}{\sigma_{red2}} = \frac{240}{96,3} = 2,5 \quad (7.15)$$

7.3 Třetí tyč



Obr. 7.6 – zatížení třetí tyče v rovině x-z

Pevnostní kontrola třetího úseku tažné tyče

Ohybové napětí:

$$\sigma_{o3} = \frac{M_{o3}}{W_{o3}} = \frac{462672}{5105,8} = 90,6 \text{ MPa} \quad (7.16)$$

Ohybový moment od síly F (tab. 4.3):

$$M_{o3} = k_A \cdot F \cdot l_3 = 1,2 \cdot 357 \cdot 1080 = 462672 \text{ Nmm} \quad (7.17)$$

Modul průřezu v ohybu třetí tyče:

$$W_{o3} = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{D^4 - d^4}{D} = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{46^4 - 38^4}{46} = 5105,8 \text{ mm}^3 \quad (7.18)$$

Napětí v krutu od krouticího momentu M_{k1} (vztah 4.3):

$$\tau_{k3} = \frac{M_{k3}}{W_{k3}} = \frac{12624}{10211,5} = 1,2 \text{ MPa} \quad (7.19)$$

Modul průřezu v krutu třetí tyče:

$$W_{k3} = \frac{\pi}{16} \cdot \frac{D^4 - d^4}{D} = \frac{\pi}{16} \cdot \frac{46^4 - 38^4}{46} = 10211,5 \text{ mm}^3 \quad (7.20)$$

Redukované napětí třetí tyče podle Guesta:

$$\sigma_{red3} = \sqrt{\sigma_{o3}^2 + 4 \cdot \tau_{k3}^2} = \sqrt{90,6^2 + 4 \cdot 1,2^2} = 90,6 \text{ MPa} \quad (7.21)$$

Bezpečnost třetí tyče:

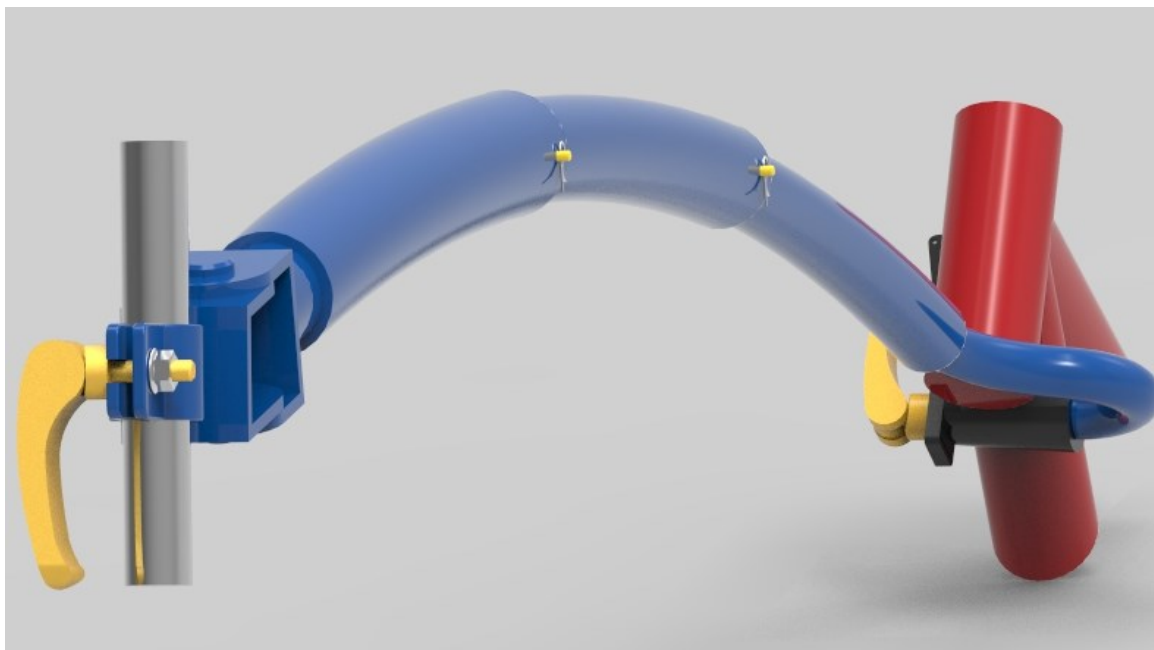
$$k_3 = \frac{Re}{\sigma_{red}} = \frac{240}{90,6} = 2,6 \quad (7.22)$$

8. Závěr

V této bakalářské práci byly splněny všechny cíle, které byly na začátku práce stanoveny. Výběrem vhodného materiálu bylo dosaženo nízké hmotnosti (2,8 kg). Rozdělením tažné tyče do tří segmentů, bylo zajištěno lepší skladovatelnosti (rozměr ve složeném stavu do 580 mm). Jednoduchost montáže a variabilita použitelnosti pro více druhů kol, byla docílena vhodným konstrukčním řešením, tj. použitím háku a objímky s excentrem.

Tato práce by mohla být v budoucnu dále rozšířena o detailní zpracování dat chování dítěte na jízdním kole a zatížení tyče při různých situacích. Z těchto získaných dat za pomoci senzorů a jiné měřící techniky by bylo možné zjistit reálné zatížení. Mohlo by být dosaženo menších nosných průřezů za použití přesnějších výpočtů. Následkem zmenšení nosných průřezů by byla úspora materiálu, snížení váhy a tím i následné ceny samotné tyče.

Dále bych doporučil použít k tažné tyči bezpečnostní prvek k sledování dítěte jedoucího za rodičem. Jako nejjednodušší a nejlevnější způsob lze použít zpětné zrcátko. V dnešní době bych ale neviděl problém ani v použití malé digitální kamery v kombinaci s displejem umístěným na řídítkách tažného jízdního kola. Vhodné je také vybavit tažené kolo bezpečnostním praporkem, který upozorní řidiče vozidla na dítě na silnici.



Obr. 8.1 – pohled na tažnou tyč ze směru tažného kola



Obr. 8.2 - pohled na tažnou tyč ze směru dětského kola

9. Použité zdroje

- [1] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. 2008. *Strojnické tabulky*. 4. dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2008, 914 s. ISBN 978-80-7361-051-7.
- [2] MORAVEC, Vladimír a HAVLÍK Jiří. Výpočty a konstrukce strojních dílů. Skriptum, VŠB – TU Ostrava, Ostrava, 2005, ISBN 80-248-0878-1, 64 s.
- [3] Předpis č. 361/2000 Sb., o provozu na pozemních komunikacích a o změnách některých zákonů
- [4] Předpis č. 197/2012 Sb., Zákon, kterým se mění zákon č. 361/2000 Sb., o provozu na pozemních komunikacích a o změnách některých zákonů (zákon o silničním provozu), ve znění pozdějších
- [5] Tyče a profily. 2014. ALFUN [online]. [cit. 2015-03-13]. Dostupné z: <http://www.alfun.cz/sortiment/hlinik/tyce-a-profil>
- [6] Průměrná výška a váha dětí podle věku. 2014. Číselník - rychlý přehled v nejrůznějších oborech [online]. [cit. 2015-02-20]. Dostupné z: http://ciselnik.artega.cz/prumerny_vek_a_vaha_ditete_dle_veku.php
- [7] Dětská kola. 2013. Jízdní kola [online]. [cit. 2015-03-01]. Dostupné z: <http://www.kola-cirkl.cz/detska-kola/t-305/>
- [8] Trail-gator. 2008. Trail-Gator Child Bike Tow Bar [online]. [cit. 2015-03-17]. Dostupné z: <http://www.trail-gator.com/>
- [9] FollowMe Tandem. 2012. FollowMe Tandem [online]. [cit. 2015-03-17]. Dostupné z: http://www.followmetandem.co.uk/followme-tandems/followme_tandem.php
- [10] Picollo Trailercycle. 2015. Bicycle Trailers [online]. [cit. 2015-03-17]. Dostupné z: http://www.burley.com/page_776/piccolo.html
- [11] LAC - Upínací páky s excentrem. 2015. Standard Machine Elements Worldwide ELESa + GANTER [online]. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://www.elesa-ganter.com/cz/32/sp/8575/4/77/upinaci-paky-s-excentrem/lac/eg/>
- [12] Náš sortiment - Plastpartner. 2015. *Sortiment plastů a jejich obrábění* [online]. [cit. 2015-04-25]. Dostupné z: <http://www.plastpartner.cz/Nas-sortiment>